

Suivi radiologique de l'environnement des installations du laboratoire CYCERON à Caen

Synthèse 2005 - 2008.

Introduction

Le laboratoire CYCERON, à Caen, fait du diagnostic médical et de la recherche en utilisant notamment une technique dite de tomographie par émission de positrons (TEP). Pour cela, les molécules radioactives sont injectées aux patients ou animaux de laboratoire (voir l'ACRONIQUE du nucléaire n° 68 de mars 2005 pour un dossier sur le sujet).

Initialement sollicitée fin 2003 pour la réalisation d'un Bilan radiologique de l'environnement terrestre des installations du GIP Cycéron, l'ACRO s'est vue confier la mise en place de cette surveillance radiologique pour les années 2005 à 2008.

Le but premier de ce suivi est de fournir des éléments d'appréciation quant à l'impact de ces installations sur le milieu environnant et les personnes. Cette évaluation participe à la conduite opérationnelle de la radioprotection et permet de s'assurer du respect des seuils réglementaires imposés à l'exploitant.

A partir des résultats obtenus lors du bilan effectué en 2003 et grâce aux connaissances et à l'expérience du laboratoire dans ce domaine, l'ACRO a établi un plan de surveillance de l'environnement, découpé en trois volets distincts :

- **1^{er} volet : Mesures de radioactivité (émetteurs gamma) dans des échantillons biologiques**
- **2^{ème} volet : Mesure de dosimétrie ambiante intégrée (rayonnement gamma)**
- **3^{ème} volet : Evaluation de l'exposition ambiante ponctuelle par cartographie du rayonnement gamma ambiant.**

Ces opérations sont effectuées tous les trimestres. L'ensemble de ces trois volets est traité dans chacune des communications trimestrielles, rapportant à la fois les moyens d'étude et les résultats des différentes analyses et des mesures *in situ*.

Rappel du contexte

La tomographie par émission de positons est un examen d'imagerie médicale qui permet de visualiser les activités du métabolisme, plus précisément des tissus, chez les humains ou les animaux. Les images sont obtenues par injection dans l'organisme d'une molécule radioactive marquée par des isotopes du carbone, du fluor ou de l'oxygène (émetteurs de positons). Cette technique permet de localiser, en chaque point d'un organe, une substance marquée par un radioélément administré à un sujet vivant, et de suivre dans le temps l'évolution de cette substance. Elle fournit ainsi une image quantitative du fonctionnement de l'organe étudié.

La caméra à positon enregistre les désintégrations de l'isotope injecté au patient et permet ainsi l'acquisition des images. Cet appareil a l'aspect d'un scanner ou d'une IRM même si le principe de fonctionnement est différent. Lors de l'examen, le patient est allongé sur un lit qui se déplace à l'intérieur d'un anneau détecteur, l'examen dure de 20 à 40 minutes.

Dans le cadre du fonctionnement normal de l'installation, des rejets d'effluents radioactifs gazeux sont effectués régulièrement, principalement par le biais d'émissaires constitués par deux cheminées d'une hauteur d'environ 10 m par rapport au sol. L'une concerne les manipulations opérées au sein du bâtiment B139 (chimie chaude) alors que l'autre s'intéresse à la production de radionucléides à l'aide d'un cyclotron. Si les radionucléides fabriqués, que sont l'oxygène-15, le carbone-11 et le fluor-18, ont une période physique inférieure à 2h, d'autres produits d'activation mais de période physique beaucoup plus longue sont également formés (leur création est involontaire) et peuvent coexister dans les rejets atmosphériques avec les radionucléides médicaux de courtes périodes.

Au cours du bilan radioécologique de 2003, les analyses faites par spectrométrie gamma sur des échantillons d'herbe, n'ont révélé aucun marquage¹ durable de l'environnement (c'est à dire décelable sur une période égale ou supérieure à 8 jours) du site du GIP CYCERON en relation avec le fonctionnement normal des installations.

Toutefois, suite à la cartographie du rayonnement gamma ambiant du site, réalisée dans le même temps, des variations ont été mises en évidence – de manière fluctuante - en plusieurs endroits des 3 ha du GIP Cycéron. Les deux principales causes à considérer, hormis la présence du local à déchets radioactifs, sont le relâchement de radionucléides dans l'atmosphère avec les effluents gazeux et le rayonnement de sources radioactives situées à l'intérieur des bâtiments dans la salle de synthèse notamment.

Ainsi, en regard de ces résultats, il apparaît nécessaire, dans le cadre de la surveillance régulière de l'environnement de réaliser à la fois l'évaluation des répercussions directes des activités sur le rayonnement gamma ambiant, ainsi que la surveillance du couvert végétal comme bioindicateur des dépôts de particules radioactives à proximité des installations.

Définition des moyens

Mesures de radioactivité sur échantillons biologiques (émetteurs gamma)

Objectif

L'approche consiste en la surveillance des niveaux des radionucléides émetteurs gamma présents dans le compartiment biologique de l'environnement du GIP Cycéron. Les éléments recherchés sont caractéristiques de l'environnement naturel et du fonctionnement des installations. D'une manière générale, l'intérêt porte sur les radionucléides ayant une période physique suffisamment longue pour induire un marquage durable de l'environnement.

Les radionucléides présentés dans les tableaux de résultats sont d'abord les radionucléides d'origine naturelle tels que béryllium-7, potassium-40 et les produits de filiation appartenant aux chaînes de l'uranium-238 et du thorium-232.

Concernant la recherche des radionucléides artificiels, l'approche retenue initialement (depuis 2003) était basée essentiellement sur des données bibliographiques recensant les produits issus de l'activation des bétons des enceintes des cyclotrons.

A partir du troisième trimestre 2006, l'approche bénéficie du retour d'expérience relatif à l'analyse qualitative (par spectrométrie gamma) du système de filtration de la casemate du cyclotron du GIP, effectuée lors du remplacement de celui-ci en avril 2006. Un certain nombre de radionucléides mis en évidence lors de cette analyse n'étaient pas, jusqu'à présent, recherchés. La liste des produits d'activation pris en compte a donc été étendue et comporte les radionucléides suivants : sodium-24, scandium-46, cobalt-60, zinc-65, brome-82, antimoine-122 et 124, iode-123, baryum-131 et 133, césium-137, samarium-153, europium-152.

Localisation et nature des prélèvements

La distribution géographique des sites de prélèvements présentée ci-dessous, tient compte, à la fois des potentialités qu'offre le site, de son accessibilité par le public et de l'intensité estimée des dépôts.

Les prélèvements effectués pour cette surveillance se répartissent sur deux zones distinctes [figure 1] qui ont comme similitude d'être concernées par les dépôts atmosphériques (secs et humides) relatifs aux émissions gazeuses de l'installation.

- **La première étendue concerne les 3 hectares du campus Jules HOROWITZ où est implanté le GIP CYCERON en raison de l'accessibilité du lieu par le public et de l'existence (théorique) de dépôts plus importants qu'ailleurs.**

Bien que des restrictions d'usage existent, ce campus est accessible au public tous les jours ouvrés de la semaine entre 8h et 18h.

Par ailleurs, les évaluations faites à l'aide du code GASCON² (et notamment les coefficients de transferts atmosphériques (CTA) obtenus pour différents endroits) suggèrent que c'est à moins de 100m de l'installation que la dilution des gaz rejetés est la moins importante. Tenant compte du

¹ à des niveaux significatifs et par des radionucléides émetteurs gamma

² Voir dossier d'enquête publique déposé par CYCERON, version du 17 juin 2003.

cadastre, c'est donc sur les 3 hectares du campus où est implanté le GIP CYCERON que la situation devrait être la plus pénalisante en termes d'exposition.

Pour cette étendue, l'échantillonnage concerne quatre points distincts situés dans l'environnement immédiat des bâtiments du GIP CYCERON dans la limite de 100 m autour des émissaires de rejets gazeux.

Considérant la rose des vents, et également l'absence de trajectoire résiduelle d'écoulement d'air, 4 directions ont été retenues et distribuées avec un pas d'environ 90° à partir de la direction des vents dominants (SO). En tenant compte des contraintes d'urbanisation, il n'a pas été possible de prélever à une même distance des émissaires de rejets (cheminées). Aussi, les lieux de prélèvement (**notés de A à D**) se situent à environ 75±15 m des cheminées.

Le bioindicateur retenu pour cette zone est le **couvert végétal (herbe)**.

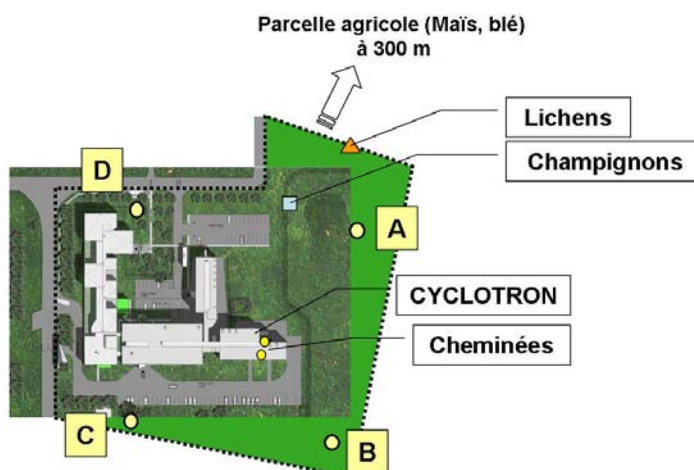
Remarque : en fonction des potentialités offertes par l'environnement du GIP au long de l'année, il est laissé à l'appréciation de l'ACRO d'effectuer un ou plusieurs prélèvements supplémentaires d'indicateurs biologiques dans le but d'apporter des informations complémentaires sur la qualité de l'environnement autour des installations.

- **La seconde étendue concerne la zone agricole située au nord des émissaires de rejets gazeux en raison de son utilisation à des fins de production de denrées alimentaires.** Le plateau sur lequel est implanté le GIP CYCERON était anciennement utilisé pour des activités agricoles. Avec l'urbanisation grandissante de ces dernières décennies, il ne subsiste plus que des terres agricoles au Nord de l'installation. S'il n'y a apparemment plus d'élevage, les observations *in situ* confirment en revanche l'exploitation de terrains (proches de l'installation) à des fins de culture, notamment celle du maïs. En conséquence, il existe des potentialités d'atteinte à l'homme par la contamination de denrées entrant dans la chaîne alimentaire.

Pour cette étendue, l'échantillonnage concerne une seule zone ; la parcelle exploitée la plus proche du GIP CYCERON, en l'occurrence à environ 300 m au Nord-Nord-Est de l'installation.

Le bioindicateur retenu pour la zone située hors cadastre (parcelle agricole) dépend de la culture effectuée au moment des prélèvements. Le **maïs et/ou le blé** semblent être les cultures prédominantes de cette parcelle.

Figure 1 : localisation des stations de prélèvement d'indicateurs biologiques (lichens, champignons), herbe (A à D) et cultures.



Mesures de radioactivité sur échantillons biologiques (émetteurs gamma) - RESULTATS

Figure 2 : nombre d'analyses gamma effectuées sur les indicateurs biologiques entre 2005 et 2008.

Nombre d'analyses	Années				
	2005	2006	2007	2008	
Herbe	11	14	14	11	Aucun radionucléide artificiel détecté
Blé	1	1	-	-	"
Maïs	-	-	1	-	"
Champignons	-	-	2	2	"
Lichens	-	-	-	1	"

Commentaires

Les analyses par spectrométrie gamma effectuées sur les échantillons biologiques n'ont révélé la présence d'aucun radionucléide artificiel à des activités significatives, même parmi ceux recherchés en priorité à savoir : ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{82}Br , ^{122}Sb , ^{124}Sb , ^{123}I , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{137}Ba , ^{137}Cs , ^{153}Sm , ^{152}Eu .

Les seuls radionucléides systématiquement mis en évidence sont naturels, il s'agit du potassium-40 et du béryllium-7. Le premier est un constituant de tous les compartiments (biologique et minéral). Le second étant produit dans l'atmosphère, est un indicateur des retombées sèches et/ou humides.

Aucun marquage de l'environnement des installations du GIP CYCERON par des radionucléides artificiels émetteurs gamma n'est donc observé.

Dosimétrie ambiante intégrée

Objectif

Il s'agit ici d'évaluer l'impact des installations sur le milieu et les personnes en termes d'exposition externe.

Dispositif

La dosimétrie est assurée par un dispositif comprenant une chambre d'ionisation associée à une électret (système E-perm) enfermé dans un sachet de protection, en plastique étanche, pour éviter notamment, la contribution du gaz radon. La durée d'intégration est fixée à un trimestre et la dose annuelle est calculée à partir du cumul des doses trimestrielles. La sensibilité du dispositif est de 10 μGy pour une dose moyenne mensuelle estimée à environ 60 μGy dans le Calvados d'après le réseau Téléray (IRSN). Une telle sensibilité permet de connaître la contribution liée aux activités du GIP CYCERON avec un bon niveau de confiance.

Figure 3 : dispositif pour la dosimétrie ambiante intégrée ; en préparation et *in situ*.



Localisation

Les sites de pose des dispositifs intégrateurs sont identiques à ceux choisis pour les prélèvements d'herbe, c'est à dire quatre points distincts (A, B, C & D) distribués à partir de la direction des vents dominants (SO). Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus dans les mêmes conditions opératoires sur le site du laboratoire ACRO (dispositif T, comme « témoin ») situé à plus de 3 kilomètres des installations nucléaires. Les dispositifs sont renouvelés chaque trimestre.

Dosimétrie ambiante intégrée - RESULTATS

Figure 4 : Evolution du débit de dose moyen ($\mu\text{Sv/h}$) mesuré trimestriellement sur le site A et sur le site témoin entre 2005 et 2008.



Figure 5 : Evolution du débit de dose moyen ($\mu\text{Sv/h}$) mesuré trimestriellement sur le site B et sur le site témoin entre 2005 et 2008.

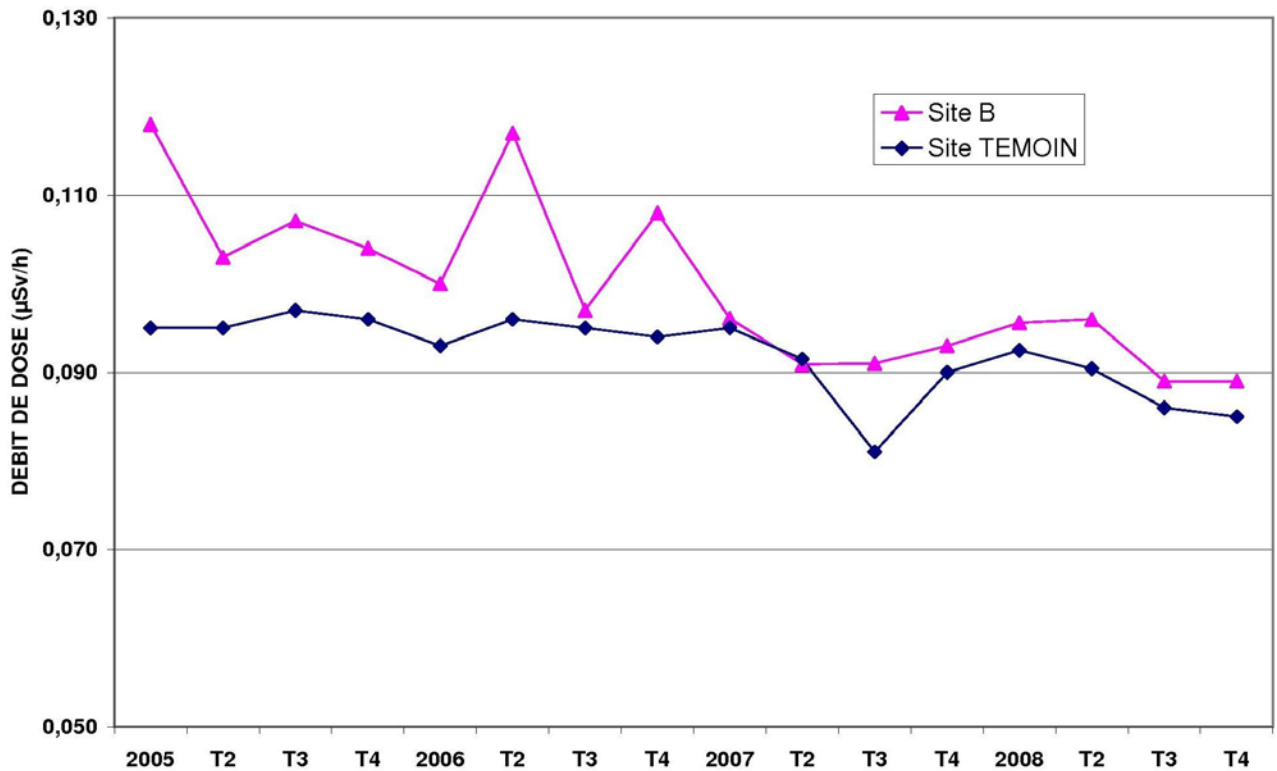


Figure 6 : Evolution du débit de dose moyen ($\mu\text{Sv/h}$) mesuré trimestriellement sur le site C et sur le site témoin entre 2005 et 2008.



Figure 7 : Evolution du débit de dose moyen ($\mu\text{Sv/h}$) mesuré trimestriellement sur le site D et sur le site témoin entre 2005 et 2008.



Commentaires

Le débit de dose moyen mesuré sur chaque site du GIP CYCERON est quasiment toujours supérieur à celui du site témoin, montrant une certaine influence des installations. Toutefois, cette information est à mettre en regard de l'écart mesuré entre le site témoin et les stations d'étude, qui se révèle être relativement restreint (<15%). D'autre part, la gamme de débit de dose moyen dans laquelle se trouve l'ensemble des mesures effectuées (de 0,081 à 0,118 $\mu\text{Sv}/\text{H}$) ne révèle pas de situation radiologique particulière.

D'autre part, l'évolution temporelle des débits de dose moyens sur chacun des sites suit de façon assez synchrone l'évolution du site témoin. Deux anomalies (augmentation du débit de dose moyen) semblent pourtant se détacher, l'une au 2^{ème} trimestre 2006, révélée sur les stations A, B et D, l'autre au 4^{ème} trimestre 2006 révélée sur les stations B et D. Si ces irrégularités doivent être interprétées avec précaution du fait du faible écart par rapport au témoin, il en ressort néanmoins que seul le quart sud-ouest (point C) semble hors de toute influence des installations du GIP CYCERON.

Il est important de noter qu'un autre laboratoire de recherche est présent sur le même campus : il s'agit du Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (GANIL). Il est possible que cette installation contribue aussi au débit de dose mesuré.

Evaluation de l'exposition ambiante ponctuelle

Objectif

L'approche consiste à vérifier, de façon ponctuelle, lors d'une phase d'activité du cyclotron et de production de molécules marquées, le niveau d'exposition dû au rayonnement gamma à l'extérieur des bâtiments. On cherche ainsi à mettre en évidence toute augmentation du rayonnement ambiant, laquelle pourrait avoir comme origine possible :

- une accumulation localisée de radionucléides, déposés ou en suspension dans l'air, à la suite de rejets d'effluents gazeux ;
- l'existence de source(s) d'irradiation à l'intérieur des bâtiments.

Ainsi, l'étendue concernée par les investigations a été définie de manière à intégrer la totalité des 3 ha du campus Jules HOROWITZ où est implanté le GIP CYCERON car il s'agit de la zone la plus sensible aux dépôts atmosphériques.

Appareillage

L'évaluation repose sur la mise en œuvre *in situ* d'un appareil portatif adapté à la détection des rayonnements gamma, en l'occurrence le DG5 de Novelec. L'information délivrée est exprimée en chocs/seconde (c/s) et se réfère au nombre de rayonnements gamma détectés dès lors que leur énergie est supérieure à 50 keV.

Méthodologie

Du fait de la rapidité d'acquisition du DG5 et de la fiabilité de la mesure, il n'est pas procédé à des mesures statiques en plusieurs endroits selon un maillage prédéfini (cas de figure habituel) mais à un balayage selon des parcours étudiés de manière à fournir des grandeurs représentatives pour la totalité de la zone étudiée.

A chaque fois que le seuil fixé est dépassé, l'approche consiste à évaluer la superficie concernée et à noter la valeur la plus forte enregistrée par le DG5, puis à procéder à une mesure de débit de dose à l'aide d'un compteur Geiger compensé en énergie (6150 AD6 de saphymo) dont le seuil bas est fixé à 0,1 $\mu\text{Sv}/\text{h}$.

Afin d'apprécier les écarts en s'affranchissant des fluctuations du bruit de fond, les résultats sont tous exprimés en pourcentage du seuil de discrimination (SD). Ainsi, toute valeur strictement supérieure au SD témoigne d'une situation radiologique jugée atypique et une valeur de +100% du SD représente approximativement une valeur double de celle du bruit de fond.

Le seuil de discrimination correspond, pour chaque nature de sol différente (terre vs bitume), à la plus forte valeur obtenue lors de mesures statiques effectuées en des endroits non influencés par les activités du GIP CYCERON et similaires en terme de composante radiologique.

Dans le cas d'une **terre de remblai**, les valeurs oscillant généralement entre 70 et 102 chocs/seconde, **le seuil de discrimination (ou valeur de référence) a été fixé à 102 c/s**. C'est celui retenu pour le parcours aux limites cadastrales du site (figure 8).

Dans le cas d'une **voirie bitumée**, les valeurs oscillant entre 80 et 142 chocs/seconde, le **seuil de discrimination (ou valeur de référence)** a été fixé à **142 c/s**. C'est celui retenu pour le parcours à l'aplomb des bâtiments (figure 9).

Figure 8 : Mesure de l'exposition ambiante ponctuelle - parcours aux limites cadastrales du GIP Cycéron.

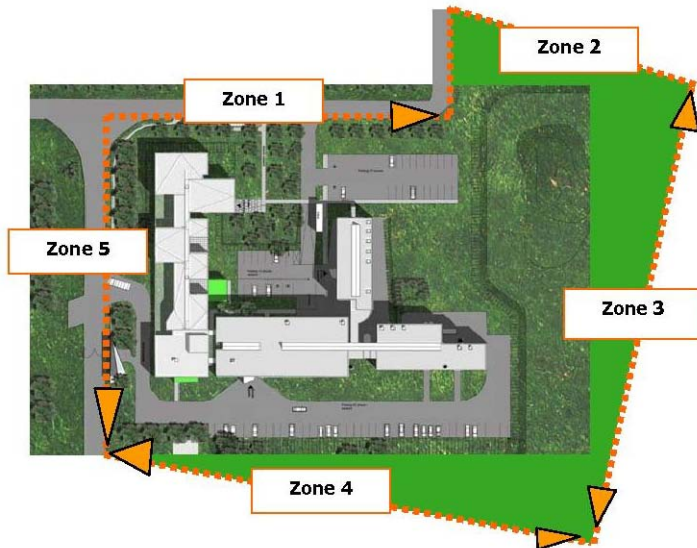
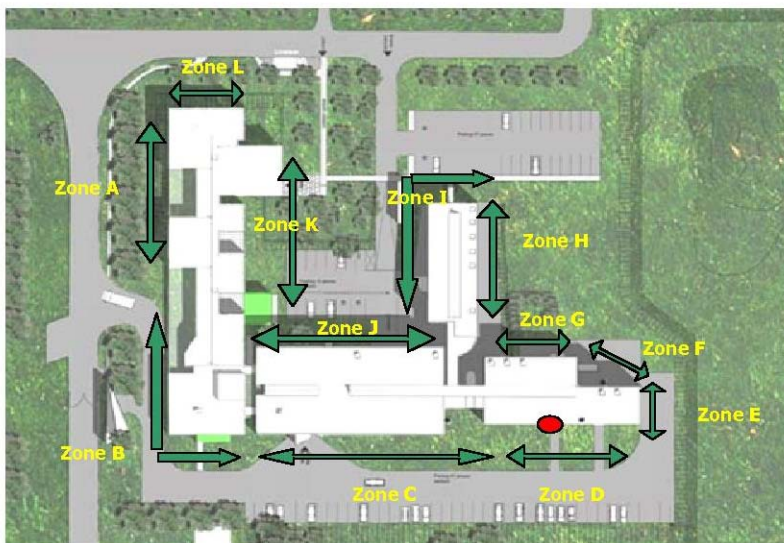


Figure 9 : Mesure de l'exposition ambiante ponctuelle - parcours à l'aplomb des bâtiments du GIP Cycéron.



Evaluation de l'exposition ambiante ponctuelle – RESULTATS / commentaires

Les mesures d'exposition ambiante ponctuelle effectuées entre 2005 et 2008, ont été planifiées afin de concorder avec des phases de production des différents isotopes (carbone-11, oxygène-15 et fluor-18). Ceci a permis de considérer les phases les plus pénalisantes en termes d'exposition, telles que l'irradiation des cibles par le faisceau du Cyclotron, la fabrication des sources radioactives injectables ainsi que leur transfert entre les différentes salles.

Les principales anomalies radiologiques relevées l'ont été aux pieds des bâtiments, en trois points précis, à savoir : la salle de synthèse de sources radioactives (zone D), les salles d'attente patients en sortie d'examen (zone C) et la casemate du cyclotron (zone F et G).

Lors des phases de production de carbone-11 (^{11}C), c'est la proximité de la salle de synthèse qui a révélé les surexpositions les plus importantes : jusqu'à 27 fois le bruit de fond ambiant au contact de la porte du bâtiment. Les surexpositions sont limitées à quelques mètres autour du point le plus actif et une décroissance du débit de dose est notée avec l'éloignement. L'exposition est également limitée dans la durée, puisqu'elle cesse dès que les sources manipulées sont déplacées vers un autre secteur.

Egalement dans le cas de production de ^{11}C , les salles d'attente patients ont été à l'origine de surexpositions très supérieures au bruit de fond ambiant (15 fois), liées à la présence de patients de retour d'examen dans la salle lors des mesures d'exposition.

Concernant la production d'oxygène-15 (^{15}O), c'est uniquement au niveau des salles d'injection de cet isotope aux patients qu'une surexposition (2,5 fois le bruit de fond) a été mesurée. A la différence des autres isotopes produits par le GIP, l'oxygène-15 est directement acheminé vers la salle d'examen, et ne transite pas par la salle de synthèse, ce qui explique qu'on ne détecte pas d'exposition en zone D lors de sa production.

Enfin, concernant le fluor-18 (^{18}F ou FLT), c'est à l'extérieur de la casemate du Cyclotron (zone F) que l'exposition mesurée a été la plus importante (5 fois le bruit de fond). Cette surexposition est liée à la localisation des cibles de fluor à l'intérieur de la casemate pendant la phase d'irradiation. Dès que l'irradiation est terminée et que les cibles sont évacuées, un retour à une exposition ambiante naturelle est immédiatement observé.